

УДК 621.891:621.646

Г. И. ЗАЙОНЧКОВСКИЙ<sup>1</sup>, Е. И. БАРИЛЮК<sup>1</sup>,  
Ю. Н. РЫКУНИЧ<sup>2</sup>, Я. Б. ФЕДОРИЧКО<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный авиационный университет, Украина

<sup>2</sup>ПАО «Киевское центральное конструкторское бюро арматуростроения», Украина

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ МАЛО- ГАБАРИТНЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ КЛАПАНОВ С ДВУХПОЗИЦИ- ОННЫМ ПОЛЯРИЗОВАННЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПРИВОДОМ

На основании результатов проведенных ресурсных испытаний определены основные изменения технического состояния в элементах и узлах малогабаритных пневматических клапанов с двухпозиционным электромагнитным приводом. Выявлены связи между развитием деградационных процессов по изменению технического состояния клапанов и изменению их выходных функциональных параметров. Определен критический элемент клапана (штока), разрушение которого под действием циклических динамических нагрузок ограничивает ресурс клапана и снижает его эксплуатационную надежность. Разработаны научно обоснованные рекомендации по обеспечению надежности и безотказности клапанов данного типа на этапе проектирования. Для уменьшения интенсивности циклических ударных нагрузок на элементы клапана при его срабатывании рекомендуется использовать специальные демпфирующие устройства в кинематической схеме подвижной части электромагнитного привода. Результаты исследований внедрены в ПАО «Киевское центральное конструкторское бюро арматуростроения».

**Ключевые слова:** малогабаритный пневматический клапан, электромагнитный привод, эксплуатационная надежность, износ, усталостная прочность, ресурс

**Актуальность исследований.** Пневматические клапаны с двухпозиционным поляризованным электромагнитным приводом типа ДТВ (двухпозиционный толкающее-втягивающий) нашли широкое применение в космической технике [1]. Такие электромагнитные клапаны (ЭМК) используются в системах ориентации и стабилизации, энергопитания, жизнеобеспечения, управления двигателем малой тяги, дозаправки и т. д. Конструктивная схема ЭМК с приводом типа ДТВ показана на рис. 1.

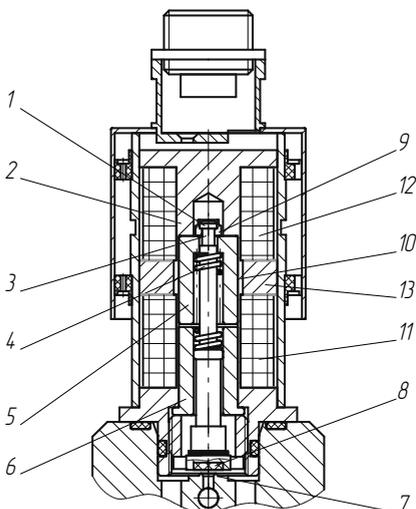


Рис. 1. Конструктивная схема пневматического клапана с двухпозиционным поляризованным электромагнитным приводом:  
1 – головка штока; 2 – корпус электромагнита; 3 – шейка штока; 4 – буферная пружина; 5 – ползун (якорь); 6 – нижний стоп; 7 – седло; 8 – золотник; 9 – стопорная шайба; 10 – разделительная трубка; 11 – обмотка закрытия; 12 – обмотка открытия; 13 – постоянный магнит

В процессе опытной отработки проявились два характерных свойства этих ЭМК: высокое быстродействие и большее количество полных функциональных отказов [2]. Предварительный анализ больших массивов информации об отказах этих изделий дал основание предположить, что эти свойства ЭМК связаны между собой. Высокое быстродействие порождает высокую скорость перемещения элементов подвижной системы привода, которая способствует высокому уровню динамических напряжений при контакте деталей клапана [2]. Высокий уровень динамических напряжений вызывает на поверхностях и в объеме деталей ЭМК деградационные процессы высокой интенсивности, которые приводят к развитию разного вида процессов усталости и износа в элементах и узлах ЭМК и, как следствие, их разрушению после определенной наработки в эксплуатации. В большинстве случаев ресурс ЭМК этого типа определяется прочностью стержневого элемента (штока) электромагнитного привода клапана [3].

В настоящее время к ЭМК к малогабаритным ЭМК систем оборудования изделий авиакосмической техники предъявляются очень жесткие требования к их безотказности и эксплуатационной надежности. Следует отметить, что вопросам обеспечения эксплуатационной надежности малогабаритных ЭМК и анализу изменения их технического состояния в процессе эксплуатации за последнее время уделяется достаточно большое внимание. В работах [2 – 4] дан анализ достигнутого уровня эксплуатационной надежности малогабаритных ЭМК и типовых отказах, которые проявляются при эксплуатации клапанов. В работе [5] рассмотрены вопросы прогнозирования возможных изменений технического состояния ЭМК в процессе выработки ресурса. Большое внимание уделяется вопросам выбора запасов работоспособности ЭМК [6, 7], которые с нужной вероятностью обеспечивали бы выработку требуемых ресурсов. В то же время актуальным остаются вопросы обеспечения необходимого уровня эксплуатационной надежности малогабаритных ЭМК с двухпозиционным поляризованным электромагнитным приводом в связи с необходимостью существенного увеличения из ресурса.

В связи с этим для научного обоснования мероприятий на увеличение ресурса малогабаритных ЭМК и обеспечению требований к их эксплуатационной надежности на этапе проектирования в ПАО «Киевское центральное конструкторское бюро арматуростроения» (КЦКБА) был проведен специальный комплекс исследований и ресурсных испытаний с целью определения и прогнозирования основных деградационных процессов в элементах и узлах ЭМК данного типа и оценки их влияния на ресурсные возможности и эксплуатационную надежность проектированных изделий.

**Результаты ресурсных испытаний.** Анализ результатов проведенных в ПАО «Киевское центральное конструкторское бюро арматуростроения» ресурсных испытаний показал, что при отработке пневматических ЭМК с приводом типа ДТВ имеют место следующие деградационные процессы, изменяющие их техническое состояние [3].

При открытии клапана (перемещении подвижной системы ЭМК от седла) имеет место:

– ударное циклическое контактирование ползуна 5 и стопорной шайбы 9 (см. рис. 1), что приводит к выкрашиванию вследствие усталости материала торцевых контактных поверхностей (рис. 2) и изменению  $c''$  относительного положения этих деталей привода (рис. 3);



Рис. 2. Повреждения верхней торцевой поверхности ползуна (якоря) под действием циклических ударных нагрузок во время открытия клапана (формоизменение поверхности контакта со стопорной шайбой и выкрашивание поверхности по месту контакта с верхним стопом)

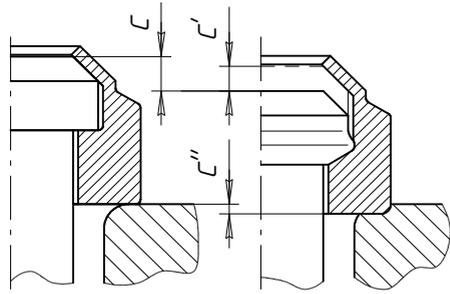


Рис. 3. Изменение взаимного положения стопорной шайбы, головки штока и ползуна в результате их формоизменения под действием эксплуатационных нагрузок

– циклическое приложение распределенного импульсного усилия, нормально к площади контакта шайбы 9 и головки штока 1, что приводит к изменению формы деталей вследствие накопления односторонних пластических деформаций (рис. 4), изменению взаимного положения  $c'$  этих деталей (см. рис. 3) и накоплению микрповреждений в материале шейки штока;

– ударное циклическое контактирование ползуна 5 и верхнего стопа 2, что приводит к деградации макрорельефа поверхностей контакта (рис. 4).

При закрытии клапана (перемещении подвижной системы ЭМК к седлу) имеет место:

– ударное циклическое контактирование золотника 8 и седла 7, что приводит к деградации поверхности резинового уплотнения (рис. 5), вмонтированного в золотник;

– ударное циклическое контактирование ползуна 5 и нижнего стопа 6, что приводит к наклепу торцевых поверхностей контакта.

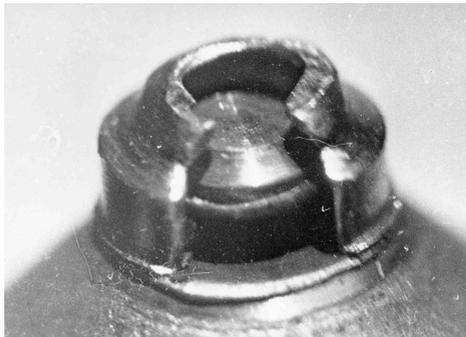


Рис. 4. Узел крепления штока и ползуна после наработки 200000 циклов срабатывания

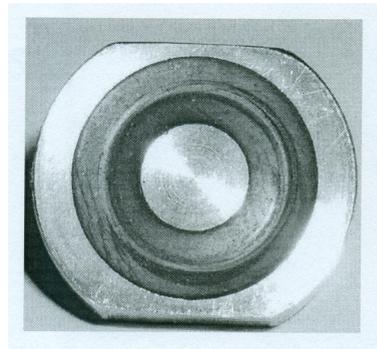


Рис. 5. Канавка на поверхности резинового уплотнения, которая образовалась под действием эксплуатационных нагрузок при закрытии клапана

Кроме того, в процессе возвратно-поступательного движения подвижной системы клапана имеет место процесс износа цилиндрической поверхности ползуна 5 и распределительной трубки 10, а также внутренних поверхностей нижнего стопа 6 и штока (рис. 6). Вследствие этого происходит постепенная деградация микрорельефа поверхностей трения, накопление продуктов износа во внутренней полости клапана и увеличение сил трения при перемещении штока и ползуна.

Таким образом выявлено, что в процессе отработки ресурса в ЭМК с приводом типа ДТВ имеет место пластические деформации деталей подвижной системы клапана и после определенной наработки разрушение шейки штока (рис. 7), что приводит к полному отказу клапана и ограничивает его ресурс.



Рис. 6. Износ поверхностей штока в процессе отработки ресурса



Рис. 7. Усталостное разрушение шейки штока

Описанные деградационные процессы в элементах ЭМК приводят к определенным эксплуатационным изменениям выходных функциональных параметров клапанов.

Установлено, что для клапанов данного типа в процессе выработки ресурса имеет место уменьшение напряжения  $U_{\text{откр}}$  и времени  $t_{\text{откр}}$  открытия клапана, некоторое увеличение напряжения  $U_{\text{закр}}$  и времени  $t_{\text{закр}}$  его закрытия и существенное уменьшение хода  $x_{\text{зол}}$  золотника (рис. 8) за счет изменения положения ползуна относительно стопорной шайбы и штока вследствие выработки кольцевой канавки на торцевой поверхности ползуна и пластической деформации деталей клапана (в первую очередь – шейки штока).

Выявлена корреляционная зависимость между разрушением шейки штока и уменьшением хода золотника клапана: уменьшение хода золотника  $x_{\text{зол}}$  до критического значения (0,1 мм) в большинстве случаев сопровождается разрушением шейки штока.

Проведенные экспериментальные исследования показывают, что определенная часть кинетической энергии подвижной системы ЭМП клапана переходит при его открытии и закрытии в потенциальную энергию деформации конструкционного материала штока и образованию в нем определенных микродеформаций, а оставшаяся часть рассеивается вследствие трения или в специально установленном демпфирующем элементе. По мере увеличения числа срабатываний клапана количество указанных энергетических переходов растёт. Накопле-

ние микродеформаций в конструкционном материале штока приводит к возникновению макротрещин, а после определенного количества срабатываний – к разрушению шейки штока и полному отказу клапана.

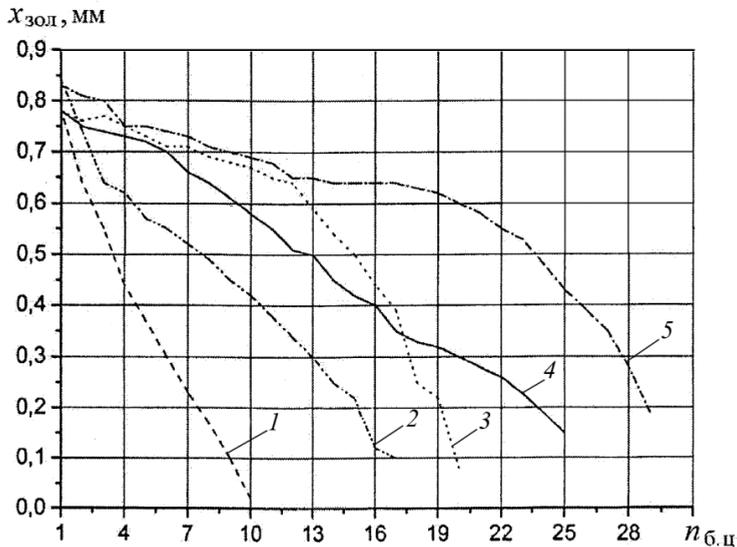


Рис. 8. Зависимость изменения хода золотника в зависимости от количества блок-циклов срабатывания (1 блок-цикл соответствует 20000 циклів) для пяти клапанів:

1, 2, 3, 4, 5 – номера клапанов

Проведенные экспериментальные исследования показывают, что определенная часть кинетической энергии подвижной системы ЭМП клапана переходит при его открытии и закрытии в потенциальную энергию деформации конструкционного материала штока и образованию в нем определенных микродеформаций, а оставшаяся часть рассеивается вследствие трения или в специально установленном демпфирующем элементе. По мере увеличения числа срабатываний клапана количество указанных энергетических переходов растёт. Накопление микродеформаций в конструкционном материале штока приводит к возникновению макротрещин, а после определенного количества срабатываний – к разрушению шейки штока и полному отказу клапана.

Таким образом, с энергетической точки зрения, условием неразрушения шейки штока клапана в процессе наработки ресурса будет выполнение неравенства

$$E_{\text{к}}^{\text{ПС}}(1 - K_{\text{рас}})n_{\text{б.ц}} < E_{\text{к.кр}}^{\Sigma}, \quad (1)$$

где  $E_{\text{к}}^{\text{ПС}}$  – удельная кинетическая энергия подвижной системы ЭМП клапана, которая в первом приближении может быть определена как

$$E_{\text{к}}^{\text{ПС}} = \frac{mV_{\text{ср}}^2}{2} / f_{\text{ст.эл.мин}}; \quad m – \text{масса подвижной системы ЭМП}; \quad V_{\text{ср}} – \text{средняя скорость}$$

перемещения подвижной системы ЭМП;  $f_{\text{ст.эл.мин}}$  – минимальная площадь поперечного сечения стержневого элемента ЭМП;  $K_{\text{рас}}$  – коэффициент рассеивания, зависящий от кинематической схемы подвижной системы ЭМП и наличия в ней специального демпфирующего элемента;  $n_{\text{б.ц}}$  – количество блок-

циклов срабатывания клапана;  $E_{\text{кр}}^{\Sigma}$  – критическое значение накопленной в материале штока удельной кинетической энергии, при котором происходит разрушение шейки штока.

Средняя скорость перемещения подвижной системы ЭМП клапана  $V_{\text{ср}}$  в первом, достаточном для инженерных расчетов приближении может быть определена как  $V_{\text{ср}} \approx h/t$ , где  $h$  – перемещение стержневого элемента (штока) клапана при его срабатывании;  $t$  – время срабатывания клапана.

Может быть определено критическое значение удельной кинетической энергии подвижной системы электропривода клапана, превращающее неравенство (1) в равенство:

$$E_{\text{кр}}^{\text{ПС}} = \frac{E_{\text{кр}}^{\Sigma}}{(1 - K_{\text{рас}})n_{\text{бц}}} . \quad (2)$$

Из выражения (2) следует, что зависимость  $E_{\text{кр}}^{\text{ПС}} = \varphi(n_{\text{бц}}, K_{\text{рас}}, E_{\text{кр}}^{\Sigma})$  представляет собой гиперболу и характеризует для данного конструкционного материала стержневого элемента критический уровень удельной кинетической энергии перемещения подвижной системы ЭМП клапана, превышение которого при определенной наработке приводит к разрушению стержневого элемента от усталости.

На рис. 9 представлены результаты экспериментального исследования зависимости наработки клапана до разрушения шейки штока  $n_p$  от уровня удельной кинетической энергии его подвижной системы для разных конструкционных материалов. Экспериментальные результаты хорошо согласуются с теоретической зависимостью (2).

На каждом уровне  $E_{\text{кр}}^{\text{ПС}}$  значения наработки клапана до разрушения его стержневого элемента (штока)  $n_p$  имеют природное рассеивание, которое определяется среднеквадратическим отклонением  $S_{n_p}$ .

Полученные экспериментальные кривые характеризуют гранично-допустимый уровень удельной кинематической энергии перемещения подвижной системы ЭМП клапана, превышение которого при определенной наработке  $n_p$  приводит к разрушению стержневого элемента от усталости.

Наличие рассеивания кинетической энергии подвижной системы электромагнитного привода клапана, оцениваемого с помощью коэффициента  $K_{\text{рас}}$ , меньшего единицы, делает зависимость  $E_{\text{кр}}^{\text{ПС}} = \varphi(n_{\text{бц}}, K_{\text{рас}}, E_{\text{кр}}^{\Sigma})$  более пологой. При введении в подвижную систему ЭМП клапана демфирующих (рассеивающих энергию удара) элементов эта зависимость становится еще более пологой, что увеличивает размер зоны работоспособности клапана под кривой  $E_{\text{кр}}^{\text{ПС}} = \varphi(n_{\text{бц}}, K_{\text{рас}}, E_{\text{кр}}^{\Sigma})$ .

Следует отметить особенности усталостных изломов стержневых элементов ЭМК в зависимости от структуры материала (рис. 10).

Прочностные изменения в деталях могут быть представлены следующими моделями [5]:

- моделью Гриффитса-Ирвина;
- моделью образования и объединения микропор.

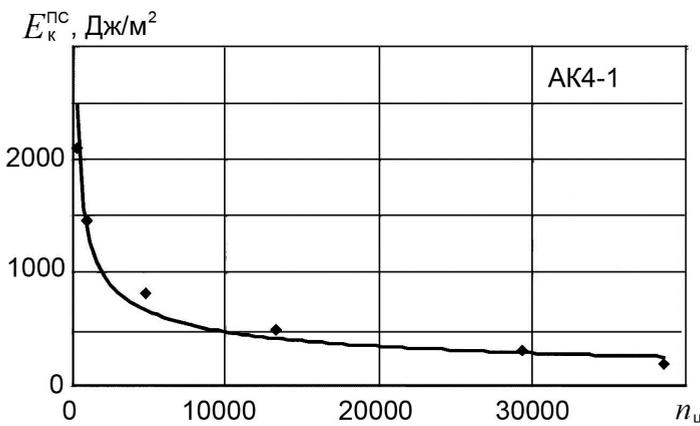
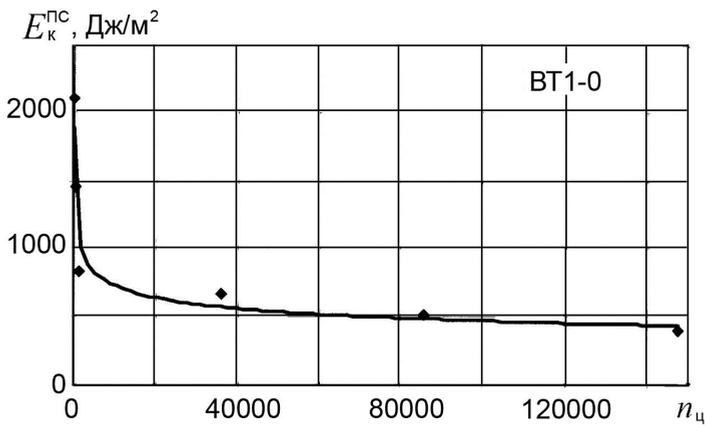
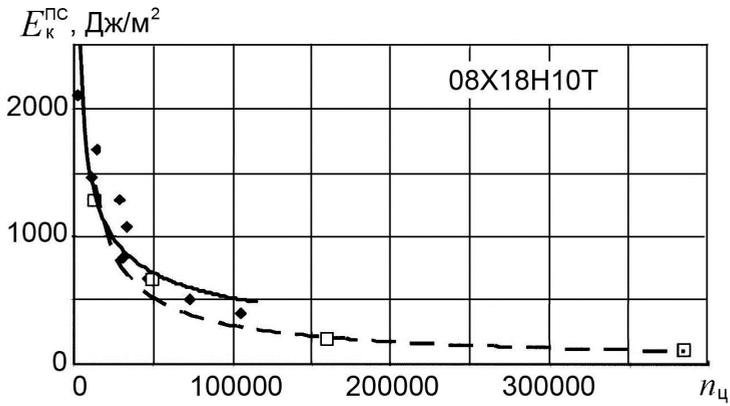
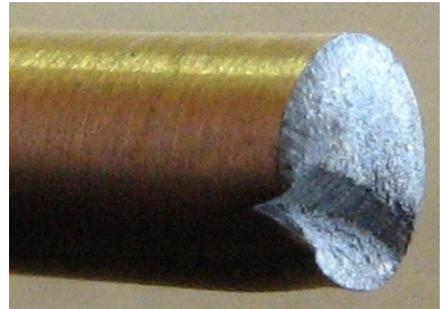
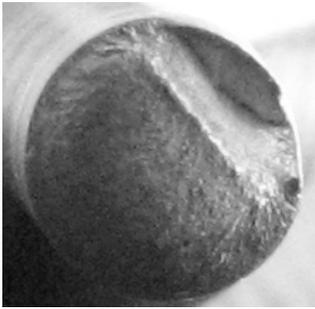


Рис. 9. Зависимости наработки клапана до разрушения шейки штока от уровня удельной кинетической энергии его подвижной системы для разных конструкционных материалов

Разрушение по модели Гриффитса-Ирвина происходит при сравнительно малых продольных деформациях. Разрушению по модели образования и объединения микропор предшествует значительная продольная деформация.



а



б



в

Рис. 10. Усталостные изломы стержневых элементов ЭМК с приводом типа ДТВ:  
а – материал VT5-1; б – материал АК4-1; в – материал VT1-0

Следует отметить два крайних случая поведения материала при простом растяжении образца – это полностью хрупкий скол после чисто упругой деформации и полностью вязкое разрушение путем скольжения и стягивания шейки в точку. Процесс разрушения в шейке – это процесс объединения или слияния образовавшихся пустот. Как правило, изломы деталей из хрупких материалов – VT5-1, АК4-1 (рис. 10, а и 10, б) имеют две характерные зоны: зону усталостного разрушения и зону долома.

Нарушение целостности стержневых элементов из пластичных материалов (ВТ1-0) происходит вследствие образования микропор и объединения их в макрополости. Характерный вид такого усталостного излома показан на рис. 10, в.

Фрактограммы усталостных изломов образца показаны на рис. 11.

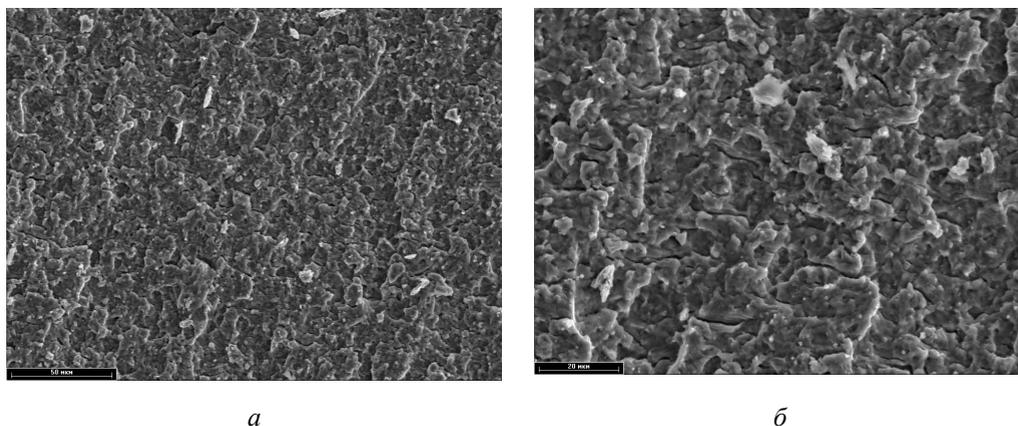


Рис. 11. Фрактограммы усталостных изломов штоков ЭМК из материала ВТ5-1:  
*а* – увеличение в 500 раз; *б* – увеличение в 1000 раз

**Мероприятия по повышению эксплуатационной надежности и безотказности ЭМК с приводом типа ДТВ.** Реализация результатов выполненных исследований проводилась в КЦКБА путем:

- усовершенствования процесса разработки новых образцов ЭМК для авиационно-космической техники;
- разработки конкретных научно обоснованных рекомендаций по совершенствованию конструкций отдельных образцов малогабаритных ЭМК.

Разработан стандарт предприятия СТУ КЦКБА–273:2012 «Методика расчета запасов работоспособности электромагнитных клапанов при проектировании», основные положения которых изложены в работах [4, 6], внедрение которых позволяет уже на ранних этапах проектирования новых ЭМК заложить в их конструкцию необходимые запасы работоспособности с учетом прогнозирования возможных эксплуатационных изменений технического состояния клапанов в процессе выработки ресурса.

Рекомендации по усовершенствованию конструкций отдельных типов ЭМК были направлены на увеличение надежности клапанов за счет [7; 8; 9]:

- усовершенствования геометрии деталей и узлов ЭМК с целью увеличения площади ударного контакта элементов клапана или поперечного сечения шейки штока, снижения влияния концентраторов напряжений;
- использования в подвижной системе ЭМП клапана устройств демпфирования для рассеивания части энергии ударного импульса;
- выбора конструкционных материалов, более стойких к влиянию ударных нагрузок.

Так как наиболее слабым звеном ЭМК с приводом ДТВ является узел соединения ползуна (якоря) со штоком, то основная часть разрабатываемых мер была направлена на совершенствование этого узла.

Заслуживает внимания введение в кинематическую цепочку передачи усилий от электромагнита к золотнику демпфирующего элемента, рассеивающего часть кинетической энергии ударного импульса (увеличения коэффициента  $K_{рас}$  в выражении 2). В качестве демпфирующего элемента рекомендуется использовать плоские прокладки с резины или полиуретана, стандартные резиновые кольца или металлические пружины. Экспериментальная проверка эффективности такого решения была проверена на штатном ЭПМ УФ 098190, используемого в ЭМК УФ 96414-010. В качестве демпфирующего элемента были использованы плоские прокладки с резины ИРП-1338 толщиной 2 мм (рис. 12). Конструкцию защищено патентом Украины [9].

Введение демпфирующего элемента привело к незначительному снижению быстродействия клапана: увеличению времени открытия клапана с нулевой наработкой с 32,5 мс до 36,3 мс и времени закрытия – с 44,5 мс до 46,2 мс. Однако при этом существенно увеличилось наработка клапан до усталостного разрушения его стержневого элемента.

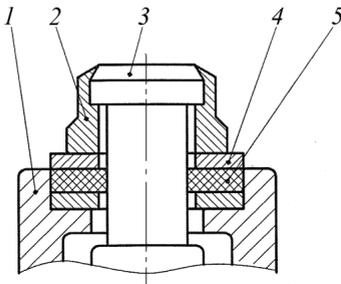


Рис. 12. Демпфирующее устройство в кинематической цепочке подвижной системы ЭМП клапана: 1 – ползун; 2 – стопорная шайба; 3 – шток; 4 – шайба; 5 – пружинный элемент с малой жесткостью

При ресурсных испытаниях пяти образцов клапанов УФ 96414-010 в штатном исполнении разрушение их стержневых элементов, выполненных из сплава 08X18N10T, наступило при наработках 6500, 6500, 10000, 12000 и 20000 циклов. При тех же условиях были испытаны 2 образца модернизированного клапана УФ 96414-010 с демпфирующими резиновыми прокладками. Испытания были приостановлены после наработки 100000 циклов. Разрушение штоков у этих клапанов не зафиксировано. По результатам дефектации элементов клапанов с демпфирующей прокладкой после отработки 100000 циклов срабатывания существенных изменений технического состояния элементов их подвижной системы не выявлено, в том числе не выявлено существенных формоизменений головки штоков, что характерно для клапанов в штатном исполнении (рис. 13).

Для уменьшения выкрашивания торцевой поверхности ползуна рекомендуется в зоне контакта со стопорной шайбой запрессовывать втулку с более износостойким к ударным нагрузкам материалом, например, из стали ХВГ (рис. 14). Проведенные ресурсные испытания ЭМК с доработанным ползуном показали эффективность проведенной доработки. После 100000 срабатываний клапана поверхность ползуна в зоне контакта со стороной шайбой оказалась практически неповрежденной (рис. 15).

Результаты исследований внедрены в ПАО «Киевское центральное конструкторское бюро арматуростроения» – ведущем предприятии Украины по разработке гидро- и пневматической арматуры для авиакосмической техники.

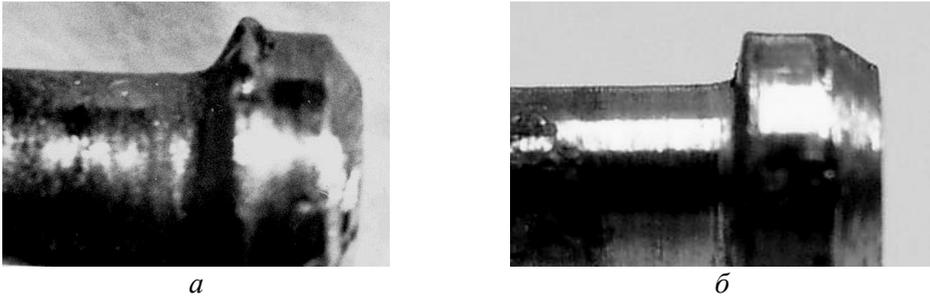


Рис. 13. Вид головки штока ЭМК после ресурсных испытаний:

*a* – подвижная система электромагнитного привода без демпфирующего элемента, наработка 20000 циклов; *б* – подвижная система электромагнитного привода с демпфирующим устройством, наработка 1000000 циклов

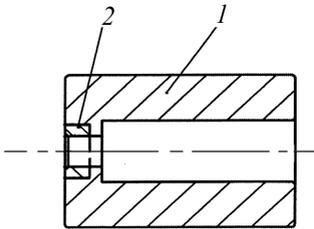


Рис. 14. Ползун электромагнитного привода клапана с запрессованной втулкой: 1 – ползун (материал пруток 16Х); 2 – втулка (материал ХВГ)



Рис. 15. Торцевая поверхность ползуна с запрессованной втулкой из стали ХВГ после 100000 циклов срабатывания клапана

## Выводы

Обобщение результатов проведенных исследований по обеспечению надежности и безотказности малогабаритных электромагнитных клапанов с приводом типа ДТВ позволяет заключить следующее.

1. Выявлены основные деградационные процессы в элементах и узлах ЭМК с приводом типа ДТВ. Установлено, что наиболее слабым узлом клапана, лимитирующим его ресурс, является узел соединения ползуна (якоря) со штоком, элементы которого подвергаются воздействию интенсивных циклических ударных нагрузок. При определенной наработке происходят существенные формоизменения головки штока, уменьшение хода золотника и разрушение шейки штока.

2. Выявлена корреляционная зависимость между наработкой клапана до разрушения его стержневого элемента (штока) и величиной удельной кинетической энергии подвижной системы электромагнитного привода. Экспериментальным путем получены зависимости граничной наработки клапанов до разрушения их стержневых элементов, выполненных из разных конструкционных материалов, от величины удельной кинетической энергии подвижной системы ЭМП клапана.

3. Разработаны и внедрены в ПАО «Киевское центральное конструкторское бюро арматуростроения» в практику проектирования малогабаритных ЭМК

стандарт предприятия СТУ КЦКБА–273:2012 «Методика расчета запасов работоспособности электромагнитных клапанов при проектировании».

4. Для уменьшения интенсивности циклических ударных нагрузок на элементы клапана рекомендуется использовать демпфирующие устройства в кинематической цепи подвижной системы электромагнитного привода клапана.

#### Список литературы

1. Кармугин Б.В. Современные конструкции малогабаритной пневмоарматуры / Б.В. Кармугин, В.Л. Кисель, А.Г. Лазебник. – К.: Техніка, 1980. – 295 с.
2. Хильчевский В.В. Надежность трубопроводной пневмогидроарматуры / В.В. Хильчевский, А.Е. Ситников, В.А. Ананьевский. – М.: Машиностроение, 1989. – 208 с.
3. Рыкуніч Ю.Н. Исследование изменения технического состояния элементов пневмоклапанов с электромагнитным приводом / Ю.Н. Рыкуніч, А.Е. Ситников, В.Ф. Лабунец, Я.Б. Федоричко // Вестник Национального технического университета Украины “Киевский политехнический институт”. Машиностроение. – Вып. № 42. – Т. 1. – К.: НТУУ “КПИ”, 2002.
4. Рыкуніч Ю.Н., Ситников А.Е. Выбор запасов работоспособности проектируемых электромагнитных клапанов с использованием энергетических критериев / Ю.Н. Рыкуніч, А.Е. Ситников // Промислова гідравліка і пневматика. – 2006. – № 1 (11). – С. 43–46.
5. Болотин В.В. Исследование моделей накопления усталостных повреждений / В.В. Болотин, А.Ф. Ермоленко // В кн.: расчеты на прочность. – М.: Машиностроение, 1979, вып. 20. – С. 3–29.
6. Рикуніч Ю.М. Визначення запасів працездатності малогабаритних електромагнітних клапанів / Ю.М. Рикуніч // Промислова гідравліка і пневматика. – 2012. – №2 (36). – С. 85-91.
7. Деклараційний патент на корисну модель 4156 Україна, 7 F16K1/00. Електромагнітний клапан / Ю.М. Рикуніч, О.Є. Ситніков, В.Л. Кисіль, Я.Б. Федоричко; КЦКБА. – № 2004021061; Заявл. 13.02.2004; Опубл. 17.01.2005, Бюл. № 1. – 2 с.
8. Деклараційний патент на корисну модель 12621 Україна, МПК (2006) F16K 31/00. Електромагнітний клапан / О.Є. Ситніков, В.Л. Кисіль, Я.Б. Федоричко, Т.В. Євсєєва; КЦКБА. – № u200508216; Заявл. 22.08.2005; Опубл. 15.02.2006, Бюл. № 2. – 3 с.
9. Патент на корисну модель 17984 Україна, МПК (2006) F16K 31/00. Електромагнітний клапан / О.Є. Ситніков, В.Л. Кисіль, Я.Б. Федоричко, Ю.М. Рикуніч; КЦКБА. – № u200604886; Заявл. 03.05.2006; Опубл. 16.10.2006. Бюл. № 10. – 3 с.

Стаття надійшла до редакції 10.02.2016

*G. I. ZAIONCHKOVSKIY, E. I. BARILYUK, Yu. N. RUKYNICH, Ya. B. FEDORICHKO*

### **ENSURING OF THE WORK RELIABILITY OF COMPACT-SIZED VALVES WITH TWO-POSITIONED POLARIZED ELECTROMAGNETIC DRIVE**

Using the results of conducted recourse tests, the main changes of technical condition in the elements of compact-sized pneumatic valves with two-positioned electromagnetic drive were revealed. The connections between the development of degradation processes of the technical condition changes in valves and changes of output functional parameters were revealed. The rod was determined as a critical element, which destruction under the cyclic dynamic loads limits the valve recourse and decreases the valve reliability. Scientifically reasoned recommendations on ensuring the valve reliability and faultness during the designing process of such valves were created. For decreasing the intensiveness of cyclic dynamic loads during its work it is recommended to use special damping devices built into the kinematic scheme of the electromagnetic drive moving assembly. The results of the research were implemented at the JSCB "Kiev central design bureau of valve design".

**Key words:** compact-sized pneumatic valve, electromagnetic drive, work reliability, wear, fatigue, recourse

**Зайончковский Геннадий Иосифович** – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой гидрогазовых систем Национального авиационного университета, [evgenia\\_zay@mail.ru](mailto:evgenia_zay@mail.ru).

**Барилюк Евгений Игоревич** – ассистент кафедры гидрогазовых систем Национального авиационного университета, [eugen.barilyuk@gmail.com](mailto:eugen.barilyuk@gmail.com).

**Рыкунич Юрий Николаевич** – генеральный директор ПАО «Киевское центральное конструкторское бюро арматуростроения», [office@kckba.kiev.ua](mailto:office@kckba.kiev.ua).

**Федоричко Ярослав Богданович** – начальник отдела ПАО «Киевское центральное конструкторское бюро арматуростроения», [nadiynist@kckba.kiev.ua](mailto:nadiynist@kckba.kiev.ua).